

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号
特開2003-50279
(P2003-50279A)

(43) 公開日 平成15年2月21日 (2003.2.21)

(51) Int.Cl. ⁷	識別記号	F I	テームコード(参考)
G 0 1 T	1/167	G 0 1 T	B 2 G 0 8 8
	1/24		
	1/36		A
	7/04		

審査請求 未請求 請求項の数13 O L (全 13 頁)

(21) 出願番号 特願2001-240054(P2001-240054)

(22) 出願日 平成13年8月8日(2001.8.8)

(71) 出願人 000005108

株式会社日立製作所

東京都千代田区神田駿河台四丁目6番地

(72) 発明者 粉川 信好

茨城県日立市大みか町七丁目2番1号 株式会社日立製作所電力・電機開発研究所内

(72) 発明者 北口 博司

茨城県日立市大みか町七丁目2番1号 株式会社日立製作所電力・電機開発研究所内

(74) 代理人 100075096

弁理士 作田 康夫

最終頁に続く

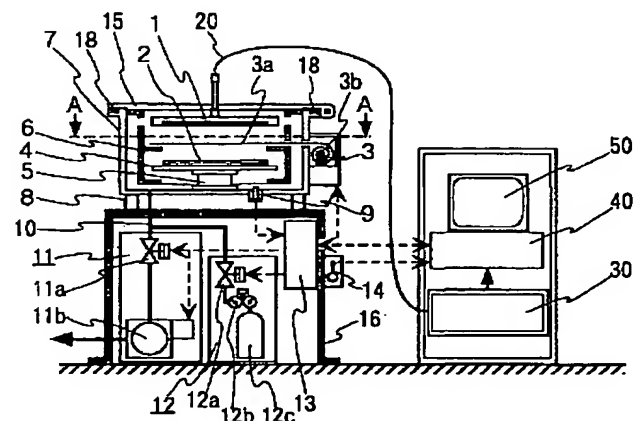
(54) 【発明の名称】 荷電粒子測定装置およびその測定方法

(57) 【要約】

【課題】 本発明の目的は、荷電粒子核種が同定された極低レベルの荷電粒子を効率よく測定できる高感度の荷電粒子測定装置を提供することにある。

【解決手段】 開閉可能な密封ドア15を設けた測定チェンバー7内に測定試料2と半導体検出器1を設け、半導体検出器1に接続された前置増幅器30c、線形増幅器30d、波高分析器30eで構成される放射線計測回路30と、その測定値から荷電粒子を定量する荷電粒子放出量演算装置40と、その分析結果を表示する表示器とを備え、測定チェンバー7に減圧排気配管系と、清浄ガスを供給置換するための清浄ガス供給配管系を設けた荷電粒子測定装置。

図 1



【特許請求の範囲】

【請求項 1】開閉可能な密封ドアを具備した測定チェンバー内に、半導体検出器と、該半導体検出器に対向するように測定試料を設置するための試料トレイを設け、前記半導体検出器と接続された前置増幅器、線形増幅器、波高分析器から構成される放射線計測回路と、該放射線計測回路からの出力信号により荷電粒子を定量分析する荷電粒子放出量演算装置と、該荷電粒子放出量演算装置の分析結果を表示する表示器と、前記測定チェンバー内に空気を排気するための減圧排気配管系と、清浄ガスを供給置換するための清浄ガス供給配管系を設けたことを特徴とする荷電粒子測定装置。

【請求項 2】測定チェンバー内に、半導体検出器と、該半導体検出器に対向するように配置された測定試料と、前記半導体検出器と測定試料との間に配置されバックグランド測定時に測定試料から入射する荷電粒子を遮蔽するための遮蔽シャッターとを設け、前記半導体検出器と接続されスペクトル分析を行う放射線計測回路と、該放射線計測回路の出力信号により荷電粒子を定量分析する荷電粒子放出量測定装置と、該荷電粒子放出量測定装置の分析結果を表示する表示器と、前記測定チェンバー内に連通する排気管を介して接続された真空排気装置及びガス置換装置を備えたことを特徴とする荷電粒子測定装置。

【請求項 3】前記測定チェンバー又は減圧排気配管系に真空度モニタを設け、該真空度モニタにより検出された真空度が変動限界レベルを超えた時間帯の測定データを自動的に除去する処理と、前記測定チェンバー内を真空排気し清浄ガスを供給置換する処理の後に再測定を開始する請求項 1 又は 2 に記載の荷電粒子測定装置。

【請求項 4】前記測定チェンバーの振動をモニタするための振動モニタを設け、該振動モニタで検知された振動が設定値を越えた時間帯の測定データを自動的に除去する処理を行う請求項 1 又は 2 に記載の荷電粒子測定装置。

【請求項 5】前記荷電粒子放出量演算装置が単位時間当たりの荷電粒子平均計数率に対して統計変動監視を行うものであって、前記荷電粒子平均計数率が設定した統計変動基準値を越えた単位時間内の測定データを自動的に除去する処理シーケンスを設けた請求項 1 又は 2 に記載の荷電粒子測定装置。

【請求項 6】測定容器内の半導体検出器周囲に、測定試料面以外から入射する妨害荷電粒子を遮蔽する遮蔽壁を設けるとともに、測定容器の外壁を鉛等の遮蔽材で包囲する構造とした請求項 1 又は 2 に記載の荷電粒子測定装置。

【請求項 7】前記半導体検出器が複数のシリコン素子及び該シリコン素子の基板を取付けネジで連結し、電極線ワイヤで配線されたものであって、各シリコン素子に前置増幅器、線形増幅器を個別に接続するとともに、前記

各線形増幅器の出力信号を加算する加算回路と、該加算回路に接続される波高分析器と、荷電粒子放出量演算装置を設けた請求項 1 又は 2 に記載の荷電粒子測定装置。

【請求項 8】開閉可能な密封ドアを具備した測定チェンバー内に半導体検出器と対向するように測定試料を設置するための試料トレイを配置し、前記測定チェンバー内に連通する排気管を介して接続された真空排気装置及びガス置換装置により真空排気と清浄ガスの供給置換を設定回数行った後、前記半導体検出器と接続された前置増幅器、線形増幅器、波高分析器から構成される放射線計測回路と、該放射線計測回路からの出力信号により荷電粒子を定量分析する荷電粒子放出量演算装置により荷電粒子放出量を計測してバックグランド測定値とし、試料トレイに測定試料を設置して真空排気と清浄ガスの供給置換を設定回数行った後、荷電粒子放出量を計測して得た荷電粒子放出量計測値から前記バックグランド測定値を差し引いた荷電粒子放出量値を算出することを特徴とする荷電粒子測定方法。

【請求項 9】測定チェンバー内に半導体検出器に対向するように測定試料を配置し、前記半導体検出器と測定試料との間を遮蔽シャッターで測定試料から入射する荷電粒子を遮蔽し、前記測定チェンバー内に連通する排気管を介して接続された真空排気装置及びガス置換装置により真空排気と清浄ガスの供給置換を設定回数行った後、前記半導体検出器と接続されスペクトル分析を行う放射線計測回路と、該放射線計測回路の出力信号により荷電粒子を定量分析する荷電粒子放出量測定装置とにより荷電粒子の放出量測定を行ってバックグランド測定値とし、遮蔽シャッターを開放して前記測定試料から入射する荷電粒子放出量の測定を行って得た荷電粒子放出量測定値から前記バックグランド測定値を差し引いた荷電粒子放出量値を算出することを特徴とする荷電粒子測定方法。

【請求項 10】前記荷電粒子放出量の測定データ収集を前記清浄ガスの供給置換後の設定時間経過した時点から開始するシーケンスを設けた請求項 8 又は 9 に記載の荷電粒子測定方法。

【請求項 11】前記荷電粒子が α 線であって、天然のラドン・トロンを補集し、その崩壊生成物が放出する α 線の測定データにより、測定する α 線のエネルギー校正を行う請求項 8 又は 9 に記載の荷電粒子測定方法。

【請求項 12】前記荷電粒子が α 線である請求項 1 から 7 のいずれかに記載の荷電粒子測定装置。

【請求項 13】前記荷電粒子が α 線である請求項 8 から 10 のいずれかに記載の荷電粒子測定方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は低レベル α 線等の荷電粒子を測定する荷電粒子測定装置及びその測定方法に係り、特に種々の材料中の低レベル α 線等の荷電粒子の

定量分析に好適な荷電粒子測定装置及びその測定方法に関する。

【0002】

【従来の技術】従来の技術を荷電粒子の内、特に α 線の測定を対象に説明する。

【0003】従来の技術としては、電子材料1988年8月号の第91頁「超低レベル α 線測定装置」に記載のように、ガスフロー比例計数管方式の低レベル α 線測定装置がある。この装置は検出面積1000cm²のガスフロー比例計数管で、中央部の多線式陽極を中心に上下に陰極を配置した検出器であり、測定試料は直接、検出器の中に入れ格子状の下部陰極の下側に近づけて置く。計数ガスにアルゴンとメタンの混合ガスであるPRガスをを用い、計数ガスを毎分約200mlの割合で検出器に流し、陽極と陰極間に数1000ボルトの直流電圧を印加する。 α 粒子が検出器内に1個入射すると、ガスがイオン化されて瞬間的にパルス電流が流れるので、この電流を電圧パルスに変換してカウントすることにより α 粒子の数を計数するものである。

【0004】

【発明が解決しようとする課題】半導体メモリがますます微細になり、 α 粒子によって半導体メモリの蓄積電荷が反転するソフトエラー現象の問題等の対策のため、種々の材料中に含まれる極微量の天然の α 放射性元素が放出する妨害 α 線の核種同定と低レベルの定量分析が重要となっている。

【0005】上記した従来のガスフロー比例計数管方式の低レベル α 線測定装置では、大面積のものでも測定を容易にできる特徴がある反面、検出器の陽極と陰極間に数1000ボルトの直流電圧を印加することが必要であり、PRガスを計数ガスとして流しながら測定しなければならず装置が大掛かりなものとなるという問題がある。

【0006】また、 α 線の分析性能の面では、エネルギー分解能が劣り α 線核種の弁別測定ができない、バックグランド計数値を小さくできない大きな欠点があり、より低レベル α 線測定が実現できないという問題がある。

【0007】本発明の第1の目的は、 α 線等の核種が同定された低レベルの α 線等の荷電粒子を効率よく測定できる高感度の荷電粒子測定装置およびその測定方法を提供することにある。

【0008】本発明の第2の目的は、より低レベル α 線等の荷電粒子測定が実現できる荷電粒子測定装置およびその測定方法を提供することにある。

【0009】本発明の第3の目的は、バックグランド計数値を小さくできる荷電粒子測定装置およびその測定方法を提供することにある。

【0010】本発明の第4の目的は、大掛かりな装置でなくて、より低レベル α 線等の荷電粒子測定が実現できる荷電粒子測定装置およびその測定方法を提供すること

にある。

【0011】

【課題を解決するための手段】上記目的を達成するために、本発明の荷電粒子測定装置は、開閉可能な密封ドアを具備した測定チェンバー内に、半導体検出器と、該半導体検出器に対向するように測定試料を設置するための試料トレイを設け、前記半導体検出器と接続された前置増幅器、線形増幅器、波高分析器から構成される放射線計測回路と、該放射線計測回路からの出力信号により荷電粒子を定量分析する荷電粒子放出量演算装置と、該荷電粒子放出量演算装置の分析結果を表示する表示器と、前記測定チェンバーに空気を排気するための減圧排気配管系と、清浄ガスを供給置換するための清浄ガス供給配管系を設けたことを特徴とする。

【0012】又、測定チェンバー内に、半導体検出器と、該半導体検出器に対向するように配置された測定試料と、前記半導体検出器と測定試料との間に配置されバックグランド測定時に測定試料から入射する荷電粒子を遮蔽するための遮蔽シャッターとを設け、前記半導体検出器と接続されスペクトル分析を行う放射線計測回路と、該放射線計測回路の出力信号により荷電粒子を定量分析する荷電粒子放出量測定装置と、該荷電粒子放出量測定装置の分析結果を表示する表示器と、前記測定チェンバー内に連通する排気管を介して接続された真空排気装置及びガス置換装置を備えたことを特徴とする。

【0013】又、本発明の荷電粒子測定方法は、開閉可能な密封ドアを具備した測定チェンバー内に半導体検出器と対向するように測定試料を設置するための試料トレイを配置し、前記測定チェンバー内に連通する排気管を介して接続された真空排気装置及びガス置換装置により真空排気と清浄ガスの供給置換を設定回数行った後、前記半導体検出器と接続された前置増幅器、線形増幅器、波高分析器から構成される放射線計測回路と、該放射線計測回路からの出力信号により荷電粒子を定量分析する荷電粒子放出量演算装置により荷電粒子放出量を計測してバックグランド測定値とし、試料トレイに測定試料を設置して真空排気と清浄ガスの供給置換を設定回数行った後、荷電粒子放出量を計測して得た荷電粒子放出量計測値から前記バックグランド測定値を差し引いた荷電粒子放出量値を算出することを特徴とする。

【0014】又、測定チェンバー内に半導体検出器に対向するように測定試料を配置し、前記半導体検出器と測定試料との間を遮蔽シャッターで測定試料から入射する荷電粒子を遮蔽し、前記測定チェンバー内に連通する排気管を介して接続された真空排気装置及びガス置換装置により真空排気と清浄ガスの供給置換を設定回数行った後、前記半導体検出器と接続されスペクトル分析を行う放射線計測回路と、該放射線計測回路の出力信号により荷電粒子を定量分析する荷電粒子放出量測定装置とにより荷電粒子の放出量測定を行ってバックグランド測定値

とし、遮蔽シャッターを開放して前記測定試料から入射する荷電粒子放出量の測定を行って得た荷電粒子放出量測定値から前記バックグラウンド測定値を差し引いた荷電粒子放出量値を算出することを特徴とする。

【0015】

【発明の実施の形態】以下、本発明の一実施例を荷電粒子として α 線を例にとり、図1から図14を用いて説明する。図1は本実施例の低レベル α 線測定装置の構成図である。測定チェンバー7（測定容器7ともいう）内の上部には、低レベル α 線を検出する平板型の半導体検出器1が後述する密封ドア15に固定されて設けられ、半導体検出器1の信号線20は、測定チェンバー7の上部から取り出される。測定する試料2は、密封ドア15を開閉することにより、測定チェンバー7内の昇降機5上の試料トレイ4に半導体検出器1と対向するようにセットされ、昇降機5を昇降させることにより試料2と半導体検出器1との距離が調整される。測定チェンバー7のフランジ部にはリング溝が設けられ、このリング溝に装着されるリング18と密封ドア15の内側の接触面は鏡面状に形成されている。

【0016】半導体検出器1と試料2の間には、バックグラウンド測定時に試料2から入射する α 線を遮蔽するための自動開閉式の遮蔽シャッター3を設ける。測定チェンバー7の内壁等から入射する妨害 α 線を遮蔽するため、半導体検出器1と試料2の周囲を囲むように遮蔽壁6を設ける。この遮蔽壁6は、測定試料面以外の面から入射する妨害 α 線を遮蔽するためのものである。

【0017】図2は自動開閉式の遮蔽シャッター3の詳細図である。遮蔽シャッター3は、遮蔽シート3aとシャッター機構3bとで構成される。 α 線はアルミ箔の場合は数10 μ mの厚さで十分遮蔽できるが、遮蔽シート3aは耐久性を考慮し、例えば100 μ m程度のアルミシートを用いる。図2中の矢印で示す遮蔽シャッター3の可動範囲は、バックグラウンド測定時は試料2を完全に閉じ、試料測定時は全開できるストロークに設定される。又、測定チェンバー7は内側を加工性の良いステンレス材等とし、外側を数cm厚の鉛材等の遮蔽材で2重構造（図は省略）とすることで、宇宙線等の妨害放射線の影響を低減することができる。このように構成することにより測定可能な下限値を下げるができる。

【0018】測定チェンバー7の下部には排気管10が設けられ、この排気管10は2つ排気管に分岐されて、一方は真空排気装置11へ、他方はガス置換装置12へ連結されている。

【0019】真空排気装置11は、半導体検出器1と試料2の間に存在する気体によって α 線が減衰するのを防止するため、測定チェンバー7内の気体を排気して α 線の測定を減圧下で行うためのもので、電磁式ゲート弁11aと真空ポンプ11bで構成され、排気管10と電磁式ゲート弁11aを介して真空ポンプ11bが連結され

ている。

【0020】ガス置換装置12は測定チェンバー7内を清浄ガス、すなわち放射性ガスを含まないガスに置換するためのものであり、電磁式ゲート弁12a、圧力調節器12b及び置換用ガスボンベ12cで構成され、排気管10と電磁式ゲート弁12a及び圧力調節器12bを介して置換用ガスボンベ12cへ連結されている。置換ガスは、窒素ガスの他に、放射性ガスを含まないガスである清浄ガスであれば適用できる。

【0021】空気中にはウランの崩壊生成物であるラドン（Rnと略す。）やトリウムの崩壊生成物であるトロン（Tnと略す。）が含まれており、ラドンやトロンから放出する α 線が大きな妨害放射線となる。ガス置換装置12で置換ガスを測定チェンバー7内へ流入させることにより、真空排気装置11により排気して測定チェンバー7内に僅かに残る空気を排除することができ、空気を窒素ガス等の清浄ガスで置換することでラドンやトロンを測定チェンバー7外に排出することができる。

【0022】このように真空ポンプを作動させ、測定容器内の空気を排気し減圧させ、僅かに残った空気を清浄ガスに置換しているため、空気中の妨害放射線を除去することができる。

【0023】測定チェンバー7と架台16との間には振動を遮断する緩衝器8を設け、振動によって半導体検出器1が受けるマイクロフォニックノイズを防止する。又、排気管10は振動の伝播が少ないフレキシブルチューブ等が望ましく、これにより、地震等の振動が排気管10を伝わり信号ノイズが発生するのを防止することができる。正常時の信号と、振動によるノイズとを差別化するために振動をモニタする振動モニタ14を測定チェンバー7の振動が測定できる位置、例えば測定チェンバー7又は架台16に取付けている。緩衝器8やフレキシブルチューブ等の排気管10で防振しても、強い振動が発生した場合はノイズの発生を防止することができない可能性があるため、振動モニタ14により検知した信号が閾値を超えた時は、信号が閾値を超えた時間帯の測定データを除外している。

【0024】このように、緩衝器により架台から測定容器への伝播を遮断しているので、振動により半導体検出器が受けるマイクロフォニックノイズを防止でき、振動モニタにより振動が閾値を越えた時間帯の測定データを自動除去する処理を行っているため、強い振動が発生した場合のノイズを除去したデータ収集が行える。

【0025】又、架台16には自動制御装置13が設置され、この自動制御装置13によって電磁式ゲート弁11a、12a、真空ポンプ11b、真空度モニタ9及び遮蔽シャッター3が自動制御される。

【0026】半導体検出器1で検出された信号は信号線20を介して放射線計測回路30に入力され、放射線計測回路30でスペクトル分析された後、 α 線放出量演算

装置 40 でデータ処理される。その処理結果は、表示器 50 で表示される。

【0027】図 3 により低レベル α 線の測定を全自動化した測定フローの概略を説明する。ステップ 100 で、測定チェンバー 7 内に測定する試料 2 をセットする。ステップ 101 で、測定チェンバー 7 内の空気中に含まれる妨害核種を排出するために清浄ガスに置換する。ステップ 102 で、気体による α 線の減衰を抑制するため測定チェンバー 7 内を減圧し、ステップ 103 で、チェンバー 7 内の遮蔽シャッター 3 を閉じ、ステップ 104 で、バックグランド測定を行う。バックグランド測定終了後に、ステップ 105 で、測定下限値を演算して結果を表示する。ステップ 106 で、測定チェンバー 7 内の遮蔽シャッター 3 を開けて、ステップ 107 で、試料の α 線測定を行い、ステップ 108 で、 α 線測定値からバックグランド測定値を差し引いた正味の α 線放出量を演算し、結果を表示する。

【0028】次に、図 3 に示すステップ 101 のガス置換及びステップ 102 の減圧動作の詳細を図 4 により説明する。ステップ 100 で、測定チェンバー 7 を開放して、試料 2 を試料トレイ 4 にセットする。測定チェンバー 7 の密封ドア 15 を開けて密閉し、ステップ 109 で、真空ポンプ 11b を作動させる。ステップ 110 で、電磁式ゲート弁 11a を開け、測定チェンバー 7 内の空気を排気して減圧させる。ステップ 111 で、真空度モニタ 9 で真空度をモニタリングし、設定真空度に達したら、ステップ 112 で、電磁式ゲート弁 11a を閉め、ステップ 113 で、真空ポンプ 11b を止める。

【0029】ステップ 114 で、電磁式ゲート弁 12a を開ける。ポンプ 12c の元圧を圧力調節器 12b により減圧させ、圧力調節器 12b の出口圧力（2 次側圧力ともいう）を大気圧より低めの 80 kPa ～ 90 kPa 程度かけた状態となるよう予め設定しておく。測定チェンバー 7 内に置換ガスが流入し、ステップ 115 で、大気圧に到達する前で電磁式ゲート弁 12a を閉じて置換ガスの流入を止める（ステップ 116）。大気圧に到達する前に電磁式ゲート弁 12a を閉じて置換ガスの流入を止めるのは、置換ガスの圧力を大気圧まで戻してしまうと置換ガスの放出が生じ、これに伴って空気が混入するとラドンやトリウムが侵入する可能性が生じるからである。

【0030】ステップ 117 で、清浄ガスへの置換操作

$$D = 3 \cdot (2 \cdot n_b / t_b)^{1/2} / (\tau \cdot A_d) \quad \dots (1)$$

ここで、 n_b はバックグランド計数率 (cph)、 t_b はバックグランド測定時間 (h)、 τ は検出効率、 A_d は検出素子面積 (cm²) である。

【0036】ステップ 125 で判定し、バックグランドの測定時間が設定時間に達したら、ステップ 126 で測定を停止させ、ステップ 105 で、 α 線放出量演算装置 40 で測定下限値を演算して表示する。バックグランド

回数が設定回数か否かを判断し、設定回数より少ない場合は、再び真空系の真空ポンプ 11b を作動させ、ステップ 109 からステップ 116 の操作を行う。設定回数に達した場合は、ステップ 118 で、真空ポンプ 11b を作動させる。ステップ 119 で、電磁式ゲート弁 11a を開け、測定チェンバー 7 内の空気を排気して減圧させる。ステップ 120 で、真空度モニタ 9 で真空度をモニタリングし、設定真空度に達したら、ステップ 121 で、電磁式ゲート弁 11a を閉め、ステップ 122 で、真空ポンプ 11b を止める。この置換操作を必要に応じ、設定回数、例えば 3 回～4 回繰り返す。なお、1 回の操作で清浄ガスに置換される場合は、設定回数を 1 回としても良い。清浄ガスに置換され、設定した真空度となったところで、図 3 のステップ 104 のバックグランド測定動作及びステップ 107 の試料測定動作に移る。

【0031】図 5 によりバックグランド測定動作及び試料測定動作の詳細を説明する。清浄ガスに置換され、設定された真空度になったところで、ステップ 103 で、半導体検出器 1 の下方に配置してある遮蔽シャッター 3 を閉じ、試料 2 からの α 線を遮蔽した状態でバックグランド測定動作を始める。

【0032】詳細は図 6 を用いて説明するが、真空度が低下するとエネルギー分解能の低下と全吸収ピーク値のシフトが起こるため、ステップ 123 で、真空度モニタ 9 により真空度を監視する。また、詳細は図 7 を用いて説明するが、経験的に測定開始当初の約数 10 時間は計数率が高いため、ステップ 124 で、計数率を逐次演算し、計数率が平均値レベルまで低下してからのデータを採用する。

【0033】このように、真空度モニタにより真空度をモニタリングして、真空度が変動限界レベルを越えた時間帯の測定データを自動的に除去する処理を行っているため、 α 線エネルギー分解能を向上することができ、 α 線の全吸収ピーク値（エネルギー）のシフト量の小さいデータを集めることができる。

【0034】バックグランドの測定時間は、目標とする α 線の測定下限値を満足する時間に設定する。具体的には α 線の測定下限値 D (C/cm²・h) は数 1 で算出した値とする。

【0035】

【数 1】

測定が終了すると、ステップ 106 で、半導体検出器 1 の下方に配置してある遮蔽シャッター 3 を全開し、試料測定動作に移り、試料 2 からの α 線を測定する。

【0037】真空度が低下するとエネルギー分解能の低下と全吸収ピーク値のシフトが起こるため、ステップ 127 で、真空度モニタ 9 により真空度を監視する。試料 2 の測定時間は、ステップ 128 で、試料 2 からの α 線

の計数率によって決定した時間を設定する。一般的には、試料の測定値がバックグランドと大差ない場合はバックグランド測定時間と同等に設定する。ステップ129で判断し、設定時間に達したら、ステップ130で、測定を停止させて、ステップ108で、 α 線放出量演算

$$C\alpha = (n\alpha - nb) / (\tau \cdot As)$$

ここで、 $n\alpha$ は試料の α 線計数率(cph)、 nb はバックグランド計数率(cph)、 τ は検出効率、 As は試料面積(cm^2)である。

【0039】前述したステップ111、123及び127で設定する真空度は低真空域の1kPa、すなわち10Torr程度に設定する。これは図6に縦第1軸で示すように、 α 線のエネルギー分解能は、真空度が高くなるにつれて良くなる。ここで、数値が小さいほど高真空であることを意味する。一方、計測系には一定の電気的ノイズ成分があり、図6に示す例では約80%(0.08MeV)の電気的ノイズ成分があり、これ以上の高真空にしても分解能向上の効果が低い。このため、図6に示す例では低真空域の1kPa程度が適切である。また、図6の縦第2軸に示すように α 線の全吸収ピーク値(エネルギーシフト)は、真空度が低く(数値が大きいほど低真空)なるにつれてシフト量が大きくなるため、長時間の測定においても設定真空度に保つことが重要となる。密封ドア15のOリング18との接触面は鏡面状としているので、真空排気停止後、長時間経過してもリーク量を少なく抑えることができる。また、リーク量が増し真空度モニタ9の計測値が変動限界レベル、例えば9kPaを越えた場合は、変動限界レベルを越えた以降の時間帯の測定データの除外処理を行う。除外処理の結果、測定時間が不足する場合は、真空排気して設定真空度に戻した後、再度データの蓄積を図る。このデータ処理は、例えば α 線放出量演算装置40で行われる。この手法を採用することにより、データの信頼性を大幅に確保することができる。

【0040】図7に、測定エネルギー範囲を5.5MeV～10MeVに設定した場合の測定開始時の計数率の経時変化を示す。図7に示す結果から分かるように、測定開始当初は計数率が高く、25時間程度経過すると、計数率は平均値レベル、すなわちバックグランドの平均計数率レベルまで降下する。ガス置換を行った直後に試料測定を行う場合も同様の経時変化を示す。これは、測定チェンバー7内に僅かに残ったラドン・トロンの崩壊生成物が放出する α 線の影響と考えることができる。この結果から、平均計数率レベルとなる数10時間経過後の測定データを採用し、ガス置換後、設定時間経過後に測定を自動スタートするシーケンスが有効となる。

【0041】本実施例によれば、従来は実現できなかった $10^{-3}(\text{C}/\text{cm}^2 \cdot \text{h})$ オーダの低レベル α 線測定を実現することができる。又、0.001～0.0001(C

装置40で α 線の放出量を求め、バックグランド値を差し引いた正味の α 線の放出量を演算する。正味の α 線の放出量 $C\alpha(\text{C}/\text{cm}^2 \cdot \text{h})$ は数2で算出した値とする。

【0038】

【数2】

... (2)

$/\text{cm}^2 \cdot \text{h})$ のレベルあるいはそれ以下の α 線測定を実現でき、このような低レベルの α 線測定を便宜上極低レベル α 線測定という。

【0042】次に、半導体検出器1の信号ライン20に接続する放射線計測回路30の構成を図8により説明する。

【0043】バイアス電源30aによりバイアス電圧が印加された半導体検出器1の信号線20の後段には、確実な電荷収集のためのカップリングコンデンサ30bと前置増幅器30c、波高分析に整合するパルス整形のための線形増幅器30dを設け、線形増幅器30dの後段の波高分析器30eで計測する。波高分析結果から対象とするエネルギー範囲の α 線を同定し、 α 線放出量演算装置40で α 線の放出量を定量分析し、結果を表示器50で表示する。 α 線放出量演算装置40では、振動モニタ14で振動をモニタリングし、地震等により発生するノイズ信号の除外も行う。

【0044】図9は、横軸に時刻を、縦軸に α 線の計数率をとった α 線測定のトレンドデータを示す。図9に示す測定点Aは、振動モニタ14の信号が高くなった時と同時刻に発生しており、地震等の強い振動によるノイズであるため測定データから除外する。また、測定点Bは、振動モニタ14の信号が高くなっていないので振動によるものではなく、電波等によるノイズと判断し測定データから除外する。ノイズ信号の除外レベルは計数率の統計誤差 σ の値を基準にして判定する。即ち、単位時間当たりの α 線平均計数率に対して統計変動監視を行い、設定した統計変動基準値(変動限界レベルともいう)を越えた場合は、その単位時間内の測定データを自動的に除去する処理シーケンスとする。これらのデータ処理は、例えば α 線放出量演算装置40で行われる。この手法を採用することにより、長時間の安定した測定を実現することができる。

【0045】次に、波高分析器のチャンネル(波高値ともいう)と α 線エネルギーの関係を広いエネルギー範囲で校正する手法を図10により説明する。ウラン、トリウムの崩壊生成物中、最も α 線エネルギーが大きいのはPo-212の8.78MeVである。しかし、一般的な α 線標準線源はAm-241の5.49MeV、U-238の4.20MeV、4.78MeVであり、通常ではこの高エネルギー α 線の標準線源が入手できない。そこで、空気中に含まれる天然のラドン・トロンを捕集し、この崩壊生成物が放出する α 線のPo-212(8.78MeV)、Po-214(7.69MeV)、Po-

218(6.00 MeV)を測定することによって、広いエネルギー範囲の校正を行う。

【0046】ラドン・トロンは、排気ポンプ(ダストサンプラーともいう)と捕集フィルタ(ろ紙ともいう)を用い、建屋地下室等で数10分間行う。ラドン・トロンを捕集した捕集フィルタを本実施例の極低レベル α 線測定装置にセットする。ラドン・トロンを測定を行う場合は、ガス置換は実施しなくても良く、捕集したラドン・トロン崩壊生成物の α 線スペクトルの時間経過からエネルギー校正を行う。

【0047】すなわち、図10中の第1ステップではラドン・トロンを捕集した捕集フィルタを本実施例の極低レベル α 線測定装置にセットする。図10中の捕集2時間後の1時間測定のスペクトルではラドン(Rn)の崩壊生成物であるPo-214(7.69 MeV, 半減期: 164 μ s)を顕著に検出しており(第2ステップ)、また、図10中の捕集6時間後の17時間測定のスペクトルではPo-218(6.00 MeV, 半減期: 3.1分)及びトロン(Tn)の崩壊生成物であるPo-212(8.78 MeV, 半減期: 0.3 μ s)を顕著に検出している(第3ステップ)。これら3核種と標準線源であるAm-241で得た α 線スペクトルの全吸収ピーク値から α 線エネルギーと波高分析器のチャンネルの関係を線形近似式より求め(第4ステップ)、エネルギー校正を行う。このエネルギー校正結果から、広いエネルギー範囲の α 線の核種同定が可能となり、また、測定したい核種の定量領域を決定し、同定した α 線の定量分析が可能となる。

【0048】図11は、本実施例の極低レベル α 線測定装置の測定チェンバー部分を半自動式にした変形例を示す。極低レベルの α 線を検出する平板型の半導体検出器1は測定チェンバー7内の上部に設ける。半導体検出器1の信号線20は、測定チェンバー7の上部から取り出す。測定する試料2は、トレイ受17に挿入される試料トレイ4上に測定チェンバー7内で半導体検出器1と対向するように設置される。トレイ受17は試料2の厚さに応じて、半導体検出器1との距離調整のために高さを調整できるように複数段設けられる。この試料トレイ4は、測定チェンバー7の下方内壁から放出する妨害 α 線を遮蔽するための遮蔽壁も兼ねる。又、トレイ受17は側面後下方の板状部材と一体となっており、測定チェンバー7の内壁から放出する妨害 α 線を遮蔽するための遮蔽壁も兼ねる。

【0049】測定チェンバー7の側面には測定チェンバー7内の気体を排気し、測定を減圧下で行うための排気管10が設けられ、この排気管10は真空排気装置11とガス置換装置12に接続されている。また、測定チェンバー7内の真空度を測定するための真空度モニター9を設けている。リング18と密封ドア15との接触面は鏡面状に形成され、真空排気停止後、長時間経過しても

リーク量を少なく抑えるようになっている。

【0050】次に、この半自動式の極低レベル α 線の測定フローを図12により説明する。測定は、バックグラウンド測定と試料測定の2つのフローで実行される。

【0051】まず、バックグラウンド測定フローを説明する。測定チェンバー7を開放して、試料2を設置していない状態で試料トレイ4をセットする。その後、ガス置換及び減圧動作を行う。このガス置換及び減圧動作は図4で説明した全自動の場合の測定フローと同様に行う。ガス置換が終了し設定真空度となったところで、バックグラウンド測定に移る。バックグラウンドの測定時間は、目標とする α 線の測定下限値を満足する時間に設定する。設定時間に達したら測定を停止させ、 α 線放出量演算装置40でバックグラウンド計数率と測定下限値を演算して表示する。

【0052】次に、試料測定フローでは、測定チェンバー7を開放して、試料2を試料トレイ4にセットする。その後、ガス置換及び減圧動作を行う。このガス置換及び減圧動作は図4で説明した全自動の場合の測定フローと同様に行う。ガス置換が終了し設定真空度となったところで、試料測定に移る。試料2の測定時間は、試料2からの α 線の計数率によって決定し、時間を設定する。設定時間に達したら測定を停止させ、 α 線放出量演算装置40で α 線の放出量を求め、バックグラウンド値を差し引いた正味の α 線の放出量を演算して表示する。

【0053】この構成では途中で手動で試料をセットしなくてはならないため、測定準備に時間が掛かるが、遮蔽シャッター3を必要としないことから、装置構成が簡素になり、大幅な低コスト装置を実現できる。

【0054】図13は本実施例の極低レベル α 線測定装置の半導体検出器1を複数枚配列した変形例を示す。本測定装置の性能(測定下限値ともいう)は数1からも明らかに、検出面積Adが大きくなるほど向上するため、検出面積Adをできるだけ大きくすることが望まれるが、半導体検出器1の寸法は結晶の寸法(ウエハサイズともいう)で限定されている。そのため、本実施例の半導体検出器は、図13に示す構成として、より大きな検出面積Adを確保している。すなわち、半導体検出器1は、シリコン素子1aとその基板1b、電極線ワイヤ1c、基板の取付けネジ1dで構成され、図13に示す例では、4枚のシリコン素子1aとその基板1bを基板の取付けネジ1dで連結し、電極線ワイヤ1cで配線している。半導体検出器1は互いに極力近づけることで検出効率を向上することができる。図13に示すように4枚配列した場合、実効的には測定時間が約4分の1に短縮され、より極低レベルの測定が実現できることになる。この方式で8枚、16枚と検出面積を大きくすることによって、測定下限値を向上させることができる。

【0055】この複数枚配列型の半導体検出器の放射線計測回路の構成を図14により説明する。

【0056】バイアス電源 30a によりバイアス電圧が印加された半導体検出器 1 の信号線 20 の後段には、確実な電荷収集のためのカップリングコンデンサ 30b と前置増幅器 30c、波高分析に整合するパルス整形のための線形増幅器 30d を設ける。これを 4 個の半導体検出器 1 のそれぞれ別個に設け、それぞれの線形増幅器 30d の信号を加算増幅器 31 で加算し、加算増幅器 31 の後段の波高分析器 30e で計測する。波高分析結果から対象とするエネルギー範囲の α 線を同定し、 α 線放出量演算装置 40 で α 線の放出量を定量分析し、結果を表示器 50 で表示する。

【0057】以上の説明は α 線の測定を対象にして説明しているが、 β 線等の荷電粒子に対しても同様の測定が可能である。

【0058】以上説明したごとく、本実施例によれば、従来不可能であった極低レベルの荷電粒子を核種同定しながら効率よく測定できる高感度の荷電粒子測定装置を提供することができる。

【0059】

【発明の効果】本発明によれば、これまで実現できなかった極低レベルの荷電粒子を効率よく測定できる高性能の荷電粒子測定装置を提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】本発明の一実施例である低レベル α 線測定装置の構成図である。

【図 2】自動開閉式の遮蔽シャッターの詳細を示す図 1 の A-A 断面図である。

【図 3】低レベル α 線の測定を全自動化した場合の概略測定フロー図である。

【図 4】ガス置換及び減圧動作の測定フロー図である。

【図 5】バックグランド測定動作及び試料測定動作の測定フロー図である。

【図 6】 α 線のエネルギー分解能及び全吸収ピーク値シフトと真空度との関係を示す図である。

【図 7】バックグランド測定値の経時変化を示す図である。

【図 8】本実施例の半導体検出器用の放射線計測回路の構成図である。

【図 9】 α 線測定のトレンドデータを示す図である。

【図 10】波高分析器のチャンネルと α 線エネルギーの広いエネルギー範囲での校正方法を示す図である。

【図 11】本実施例の極低レベル α 線測定装置の測定チェンバー部を半自動式にした変形例を示す斜視図である。

【図 12】半自動式測定チェンバーを用いた極低レベル α 線の測定フロー図である。

【図 13】本実施例の半導体検出器を複数枚配列した例を示す構成図である。

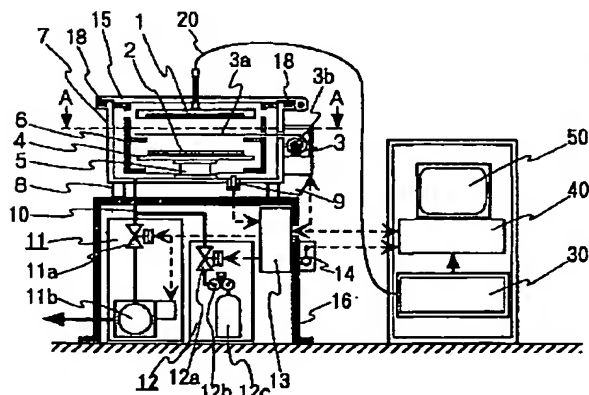
【図 14】複数枚配列型の半導体検出器の放射線計測回路の構成図である。

【符号の説明】

1…半導体検出器、2…試料、3…遮蔽シャッター、4…試料トレイ、6…遮蔽壁、7…測定チェンバー、8…緩衝器、9…真空度モニタ、11…真空排気装置、12…ガス置換装置、13…自動制御装置、14…振動モニタ、18…Oリング、30…放射線計測回路、40… α 線放出量演算装置、50…表示器。

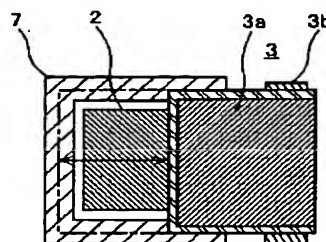
【図 1】

図 1



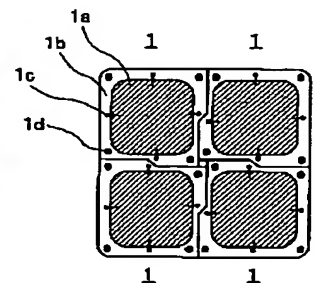
【図 2】

図 2

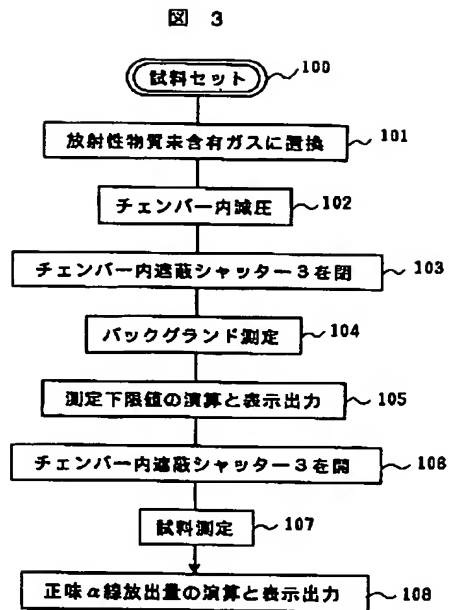


【図 13】

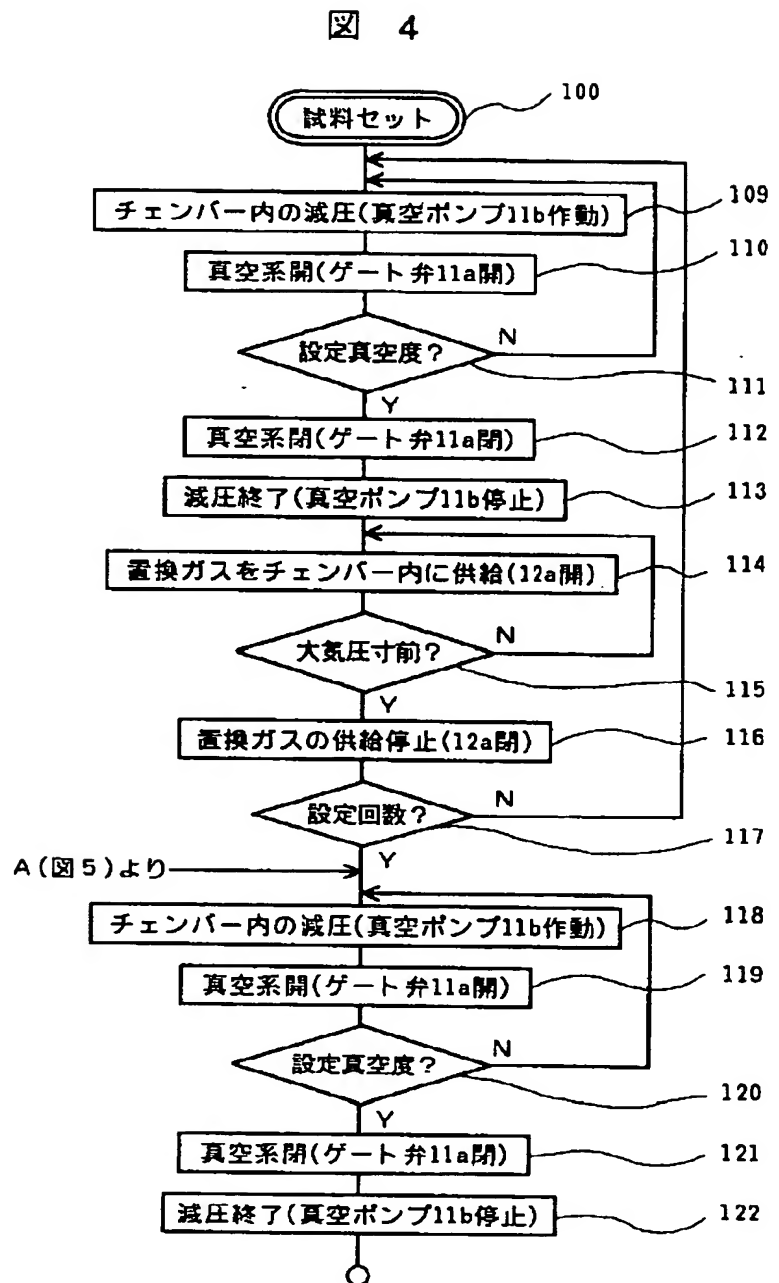
図 13



【図3】

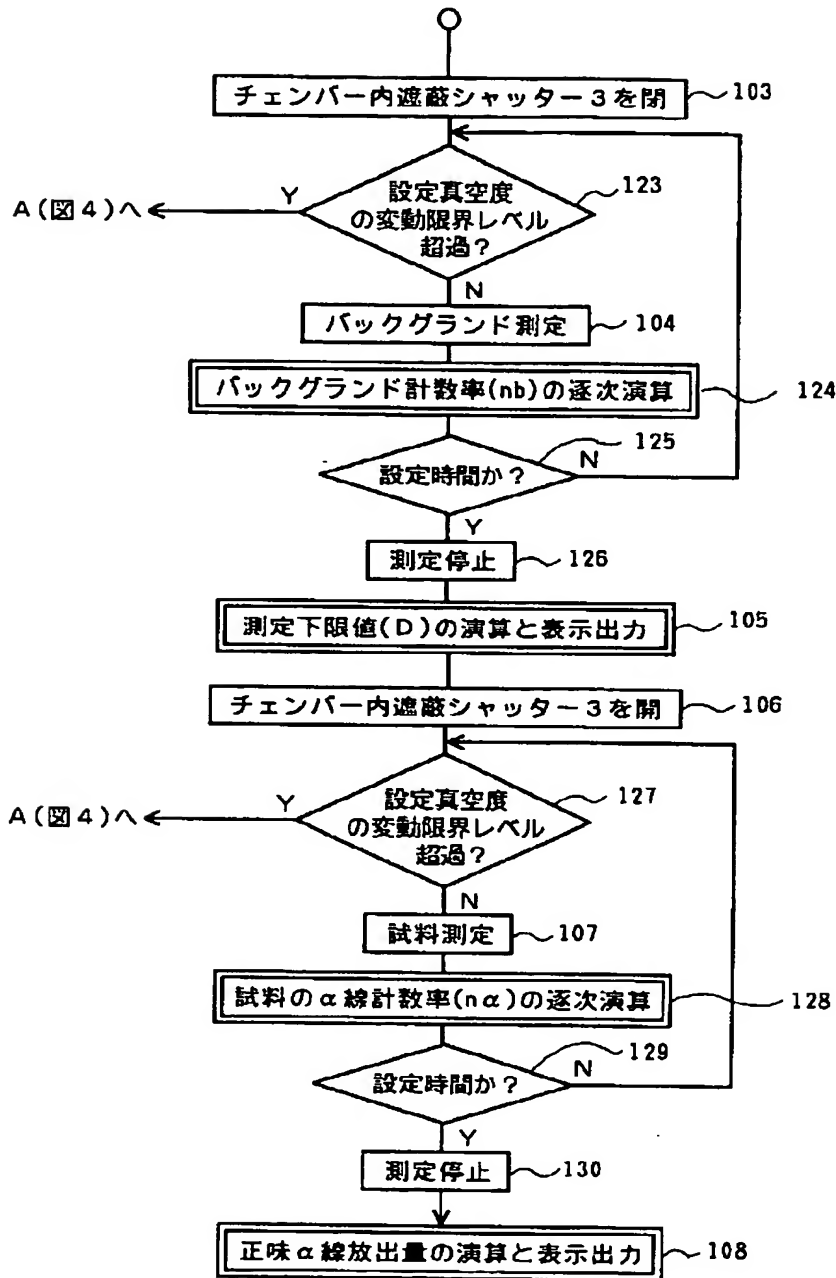


【図4】



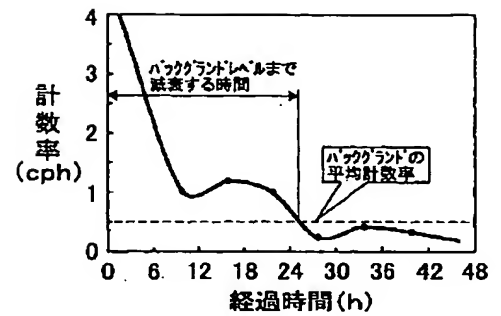
【図5】

図 5

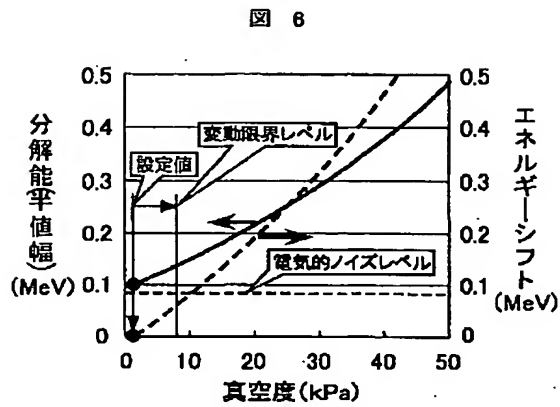


【図7】

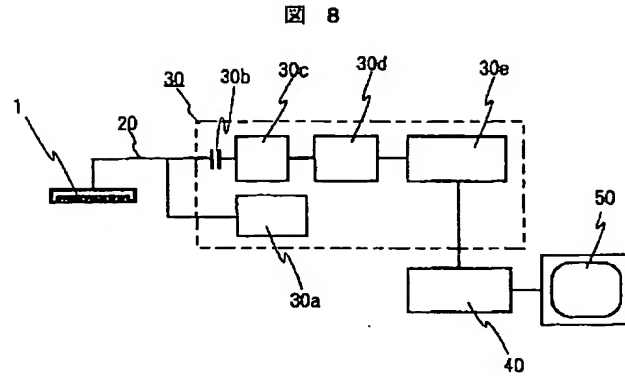
図 7



【図6】



【図8】



【図11】

【図9】

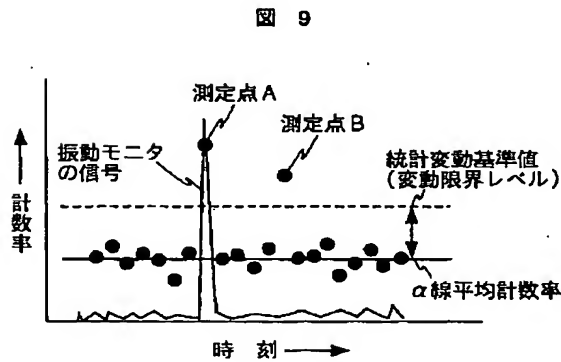
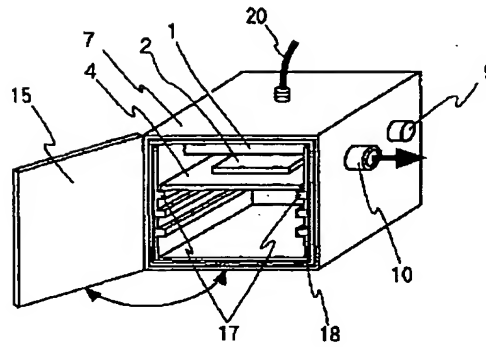


図 11



【図14】

【図12】

図 12

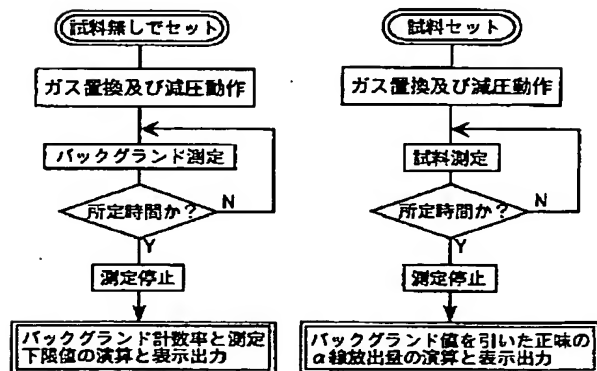
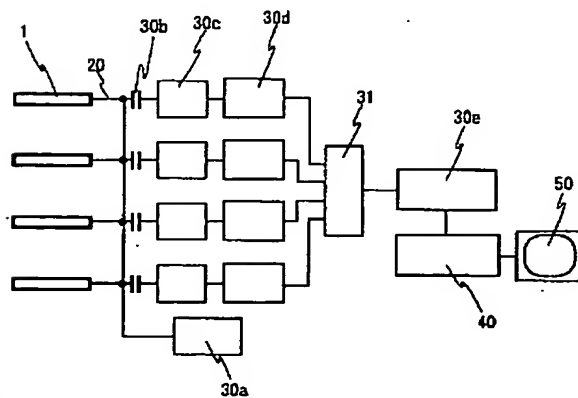
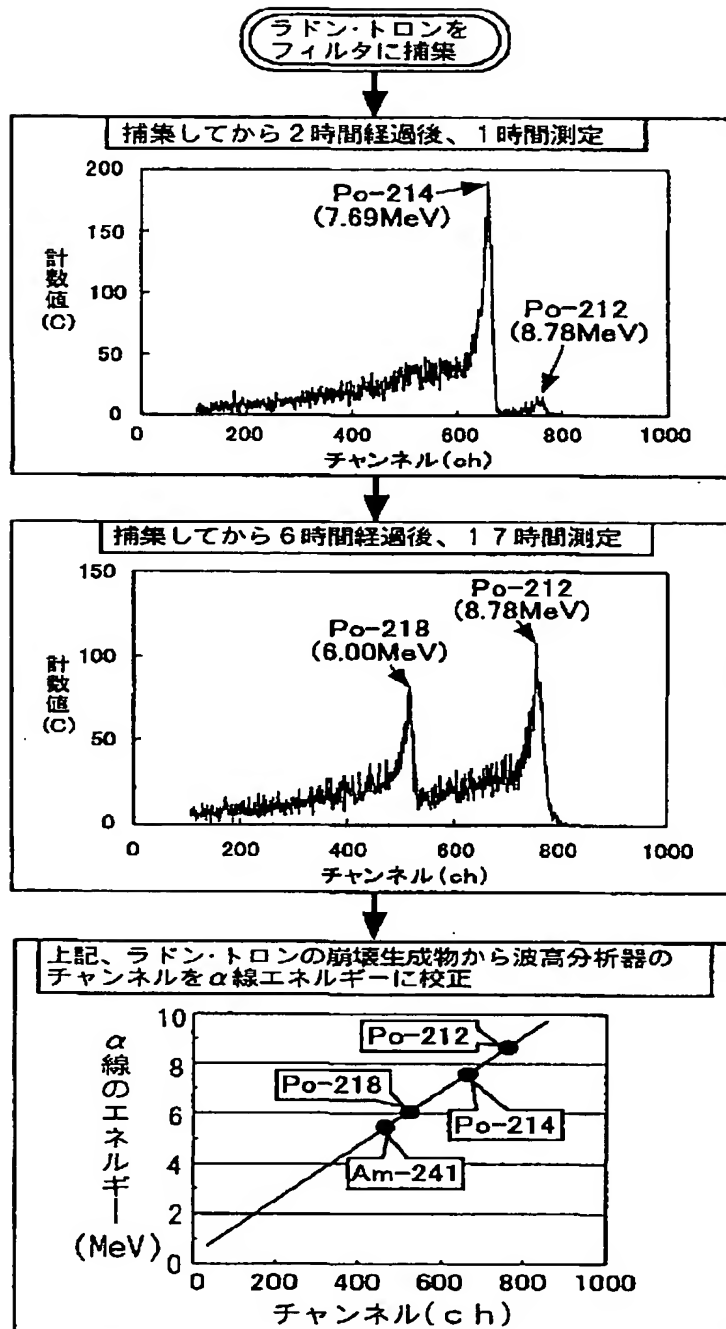


図 14



【図10】

図 10



フロントページの続き

(72)発明者 松井 哲也
茨城県日立市大みか町七丁目2番1号 株
式会社日立製作所電力・電機開発研究所内

(72)発明者 海原 明久
茨城県日立市大みか町五丁目2番1号 株
式会社日立製作所情報制御システム事業部
内

(72)発明者 有田 順一

Fターム(参考) 2G088 FF06 GG21 LL02 LL26

東京都小平市上水本町五丁目20番1号 株
式会社日立製作所半導体グループ内